

мальный характер, то это требует постоянного контроля за соблюдением его рецептуры, оказывающей основное воздействие на количество и интенсивность образования биогаза, влияющего на газовый фактор нефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуторов Ю.А., Ларин П.А. Технология повышения нефтеотдачи посредством воздействия на продуктивный коллектор: учеб. пособ. – Октябрьский: УГНТУ, 2013. – Вып. II. – 70 с.
2. Жданова Н.В.. Внедрение биотехнологий на основе сухого активного ила Новокаханской площади Арланского месторождения // Сб. тезисов докладов НТК "60 лет Девонской нефти", сентябрь 2004. – Октябрьский – Уфа: ОАО АНК "Башнефть", 2004. – 135 с.
3. Геологическое обоснование применения избыточного активного ила на Туймазинском месторождении // Сб. тезисов докладов, НТК "60 лет Девонской нефти", сентябрь 2004. – Октябрьский – Уфа: ОАО АНК "Башнефть", 2004. – 135 с.
4. ТУ 2458-001-33782561-2000. Сухой активный ил.
5. Гуторов Ю.А., Беккер Р.Х., Тимербаева Г.Р. Анализ влияния фильтрационно-емкостных свойств коллекторов на эффективность применения микробиологических методов ПНП // Труды НТК "Современные технологии в нефтегазовом деле – 2013". – Октябрьский: УГНТУ, 29.03.2013. – Т. 2. – С. 83–91.

6. Гуторов Ю.А., Светлякова С.Б. Методика оптимизации технологий повышения нефтеотдачи продуктивных коллекторов: учеб. пособ. – Октябрьский: УГНТУ, 2013. – Вып. VI. – 77 с.

LITERATURA

1. Gutorov Yu.A., Larin P.A. Tekhnologiya povysheniya nefteotdachi posredstvom vozdeystviya na produktivnyy kollektor: ucheb. posob. – Oktyabr'skiy: UGNTU, 2013. – Vyp. II. – 70 s.
2. Zhdanova N.V. Vnedrenie biotekhnologiy na osnove sukhogo aktivnogo ila Novokhazinskoy ploshchadi Arlanskogo mestorozhdeniya // Sb. tezisev dokladov, NTK "60 let Devonskoy nefiti", sentyabr' 2004. – Oktyabr'skiy – Ufa: OAO ANK "Bashneft", 2004. – 135 s.
3. Geologicheskoe obosnovanie primeneniya izbytochnogo aktivnogo ila na Tuymazinskom mestorozhdenii // Sb. tezisev dokladov, NTK "60 let Devonskoy nefiti", sentyabr' 2004. – Oktyabr'skiy – Ufa: OAO ANK "Bashneft", 2004. – 135 s.
4. TU 2458-001-33782561-2000. Sukhoy aktivnyy il.
5. Gutorov Yu.A., Bekker R.Kh., Timerbaeva G.R. Analiz vliyaniya fil'tratsionno emkostnykh svoystv kollektorov na effektivnost' primeneniya mikrobiologicheskikh metodov PNP // Trudy NTK. "Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele – 2013". – Oktyabr'skiy: UGNTU, 29.03.2013. – T. 2. – S. 83–91.
6. Gutorov Yu.A., Svetlyakova S.B. Metodika optimizatsii tekhnologiy povysheniya nefteotdachi produktivnykh kollektorov ucheb. posob. – Oktyabr'skiy: UGNTU, 2013. – Vyp. VI. – 77 s.

УДК 622.276+550.832.44

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ВЛАЖНЫХ ОБРАЗЦОВ ГРУНТА

Е.А. Марфин

(Казанский научный центр РАН (КазНЦ РАН))

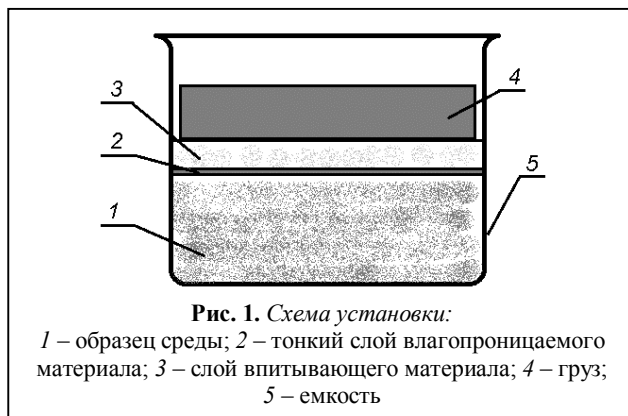
Введение

С середины прошлого столетия изучается влияние упругих колебаний на различные среды и процессы, протекающие в продуктивных пластах [1, 2]. Физические явления, возникающие при таком взаимодействии, интенсифицируют процесс добычи нефти [3]. Многочисленные промысловые эксперименты, проведенные в нашей стране и за рубежом [1–3, 5], в том числе с участием автора [4, 6–8], свидетельствуют о высокой успешности (более 80 %) метода воздействия на пласт упругими колебаниями; об увеличении дебита нефти и снижении обводненности извлекаемой продукции. Среди наблюдаемых в поле упругих колебаний явлений, приводящих в конечном счете к увеличению нефтеотдачи, можно отнести [9–14]: дегазации пластовой жидкости; ускорение процесса фильтрации жидкостей; увеличение проницаемости пористого коллектора; интенсификацию капиллярной пропитки; изменение реологических свойств пластовых жидкостей и др.

В процессе разработки месторождений наряду с проблемами добычи, разделения и транспортировки нефти перед нефтепромышленниками стоят задачи утилизации побочных продуктов. Одна из таких задач связана с извлечением пластовой жидкости из грунта, которая попадает в него, в том числе в результате бурения и ремонта скважин. В результате отставания такой субстанции часть жидкости скапливается на поверхности и ее закачивают в пласт. Для извлечения оставшейся жидкости необходим другой подход. Имеются основания полагать, что в результате воздействия упругими колебаниями можно интенсифицировать процесс извлечения жидкости из таких сред. Целью настоящей работы является экспериментальное изучение влияния упругих колебаний на процесс извлечения жидкости из влажных образцов грунта.

Методика эксперимента

В основе разработки методики эксперимента были использованы результаты работ [14, 15]. Суть экспе-



римента заключается в измерении степени извлечения жидкости из исследуемой среды до обработки ее ультразвуком (УЗ) и после обработки.

Экспериментальная установка (рис. 1) представляет собой емкость 5, в которую помещается исследуемая среда 1. На поверхность среды помещается тонкий слой влагопроницаемого материала 2 – бумага (ГОСТ Р 52354-2005). Сверху размещается слой впитывающего влагу материала 3, который прижимается к образцу 1 грузом 4. Перед размещением впитывающего влагу материала и груза емкость с исследуемой средой взвешивается на электронных весах.

Визуальным наблюдением за процессом поглощения жидкости из образца 1 материалом 3 определяется момент частичного поглощения и фиксируется время контакта. На электронных весах измеряется масса емкости с образцом без впитавшего жидкость материала и груза. После вычитания массы емкости определяется изменение массы образца во времени. Эксперимент проводится одновременно на нескольких образцах – образцах среды до и после воздействия. Практически одновременно происходят закладка впитывающего материала в емкости с образцами и измерение их массы.

Обработка упругими колебаниями исследуемых образцов влажного грунта осуществлялась с помощью ультразвукового технологического аппарата серии "Волна" УЗТА-0,2/22-ОМ. Используемая аппаратура имеет электронный генератор с таймером и регулятором выходной мощности (30...100 %) и пьезоэлектрическую колебательную систему. Такая аппаратура обеспечивает максимальную интенсивность воздействия – 10 Вт/см² при частоте колебаний 22±1,65 кГц. Измерения массы образцов проводились с использованием электронных весов ВК-300 с верхним пределом 300 г и точностью ±0,005 г.

Были исследованы два образца влажного грунта среды. Образец I представляет собой влажный грунт консистенцией густой сметаны, коричнево-зеленоватого цвета. На ощупь среда похожа на влажную глину с незначительным количеством частиц песчаника. Проба получена с участка куста 15058–15056 в июне 2015 г. в Татарстане.

Образец II более густой, чем первый, с консистенцией цементного раствора для штукатурки и включе-

ниями твердых частиц песчаника и более крупных фракций. В образце присутствует стойкий запах аммиака. Проба отобрана также в июне 2015 г. с участка куста 15212.

Результаты экспериментов

Эксперименты проводились по разработанной выше методике. Объем исследуемых образцов позволил провести эксперименты только на ограниченном числе режимов воздействия. Первый эксперимент заключался в обработке УЗ образца I в течение 30 с на мощности, составляющей 50 % от максимальной. В результате этого визуально его консистенция стала более жидкой. После УЗ обработки образец также стал более нагретым примерно на 8 °С. Для исключения теплового фактора в этом и последующих экспериментах необработанный УЗ образец нагревался до той же самой температуры на водяной бане.

Для сравнения результатов извлечения жидкости использовались две пробы образца I – обработанная УЗ и необработанная. Масса необработанной пробы составила 50 г, обработанной – 49,15 г. За 2 ч потери жидкости в необработанном образце составили 13,755 г (27,51 %), а в обработанном образце – 15,20 г (30,92 %). Следует отметить, что масса груза, придавливающего впитывающий материал к образцам, была порядка 10 г, а сам впитывающий материал представлял собой сложенную в 4 раза бумагу (типа промокашки) массой 1,4 г. Первый проведенный эксперимент показал, что в результате обработки УЗ процесс извлечения жидкости из образца идет на 10,5 % эффективнее. С другой стороны, для извлечения 13,755 г жидкости из необработанного образца требуется порядка 119 мин, в то время как для извлечения такого же количества жидкости из обработанного образца необходимо всего 60 мин. Таким образом, в результате обработки УЗ образца I в 2 раза увеличивается скорость извлечения жидкости и на 10,5 % больше масса извлекаемой жидкости.

В ходе проведения первого испытания также отрабатывалась методика испытаний. К следующему испытанию были подготовлены одинаковые по форме и массе образцы впитывающего материала (1,4 г), и грузы массой около 174 г и площадью поверхности, соответствующей площади соприкосновения с впитывающим материалом.

Во втором испытании мощность воздействия увеличили до 60 %, а продолжительность составила 60 с. В результате УЗ обработки консистенция образца I также стала более жидкой. Динамика изменения относительной массы извлеченной из образца I жидкости для различных режимов воздействия УЗ представлена на рис. 2.

За 139 мин потери жидкости в необработанном образце составили 14,23 г (29,07 %), а в обработанном – 18,24 г (36,74 %). В результате обработки УЗ процесс извлечения жидкости из образца протекает на 28,2 % эффективнее. Для извлечения одинакового

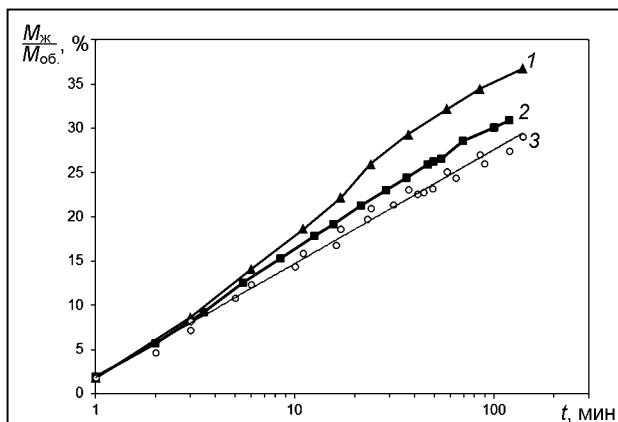


Рис. 2. Временная зависимость изменения массы извлеченной жидкости из образца I:

1 – УЗ 60 %, 60 с; 2 – УЗ 50 %, 30 с; 3 – без обработки

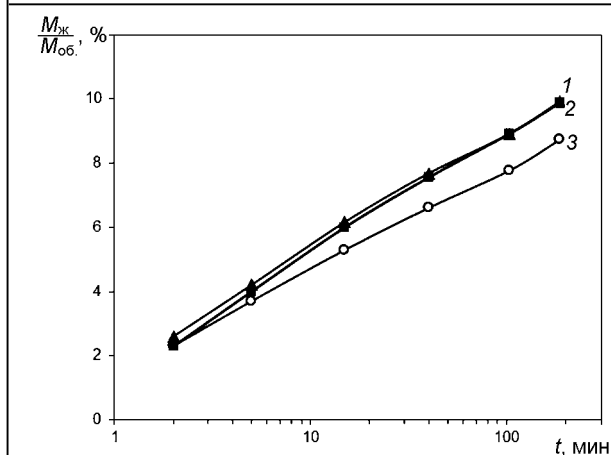


Рис. 3. Временная зависимость изменения массы извлеченной жидкости из образца II:

1 – УЗ 75 %, 60 с; 2 – УЗ 50 %, 60 с; 3 – без обработки

количества (14,23 г) жидкости из необработанного образца требуется 139 мин, а из обработанного образца – около 50 мин. Таким образом, повторный эксперимент с обработкой УЗ большими мощностью и продолжительностью свидетельствует о том, что более чем в 2,5 раза увеличивается скорость извлечения жидкости из образца и на 28,2 % больше извлекается жидкости.

Образец II обрабатывался УЗ на двух режимах: мощностью 50 и 75 %. Продолжительность воздействия составила 60 с. Поскольку содержание жидкости в образце II было меньше, чем в образце I, эксперимент продолжался значительно дольше. Результат эксперимента представлен на рис. 3 в виде зависимости массы извлеченной из образца жидкости от времени.

Расхождение в динамике потери массы жидкости обработанных УЗ образцов наблюдается в течение первых 15 мин после обработки. Так, за первые 2 мин после обработки большей мощностью количество извлеченной жидкости на 13,5 % больше, за 5 мин – только на 8,9 %, к 40-й мин эксперимента расхождение составило всего 1,7 %. К концу эксперимента (к 187-й мин) расхождение составило 0,45 %. В сравнении с необработанным образцом, у которого масса

извлеченной жидкости составила 4,395 г (8,7 %), у обработанных УЗ средняя извлеченная масса жидкости составила порядка 5,01 г (9,9 %).

В результате УЗ обработки процесс извлечения жидкости из образца II протекает на 14 % эффективнее. Для извлечения одинакового количества (4,4 г) жидкости из необработанного образца требуется 187 мин, а из обработанных УЗ образцов – около 110 мин. Таким образом, эксперимент с УЗ обработкой образца II свидетельствует о том, что более чем в 1,7 раза увеличивается скорость извлечения жидкости из образца и на 14 % больше жидкости извлекается.

Результаты проведенных экспериментов подтвердили возможность использования воздействия упругих колебаний для интенсификации процессов массопереноса в пористых средах. Следует отметить, что достигнутый эффект в данном случае являлся эффектом последовательности, т. е. процесс извлечения жидкости из грунта осуществлялся после УЗ обработки. Это означает, что извлечение жидкости из грунта в процессе УЗ обработки будет осуществляться более интенсивно. Основной причиной наблюдаемого эффекта является ослабление межмолекулярных связей между молекулами жидкости и твердых частиц грунта.

Поскольку исследуемый процесс подобен фильтрации пластовых флюидов, воздействие упругими колебаниями на пласт приведет к аналогичному результату. Таким образом, полученные результаты могут быть использованы при выборе режима волнового воздействия на продуктивные пласты с целью увеличения нефтедобычи. Несколько иной подход к выбору режима воздействия отражен в работах [16–19]. Однако и результаты, полученные в данной работе, и результаты авторов [16, 19] в конечном счете приводят к выбору необходимых параметров работы скважинных генераторов упругих колебаний и условий их размещения на устье скважины.

Заключение

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования воздействия ультразвука на влажные образцы грунта свидетельствуют об ускорении процесса извлечения жидкости образцов до 2,5 раза и увеличении доли извлекаемой жидкости на 10...28 % по сравнению с необработанными образцами. Полученные результаты могут быть использованы при выборе режима волнового воздействия на продуктивные пласты с целью увеличения нефтедобычи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beresnev I.A., Johnson P.A. Elastic-wave stimulation of oil production: A review of methods and results // *Geophysics*. – 1994. – Vol. 59. – № 6. – P. 1000–1017.
2. Акустические методы повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти / Ю.И. Горбачев, Н.И. Иванова, Т.В. Колесников, А.А. Никитин, Э.И. Орент-лихерман // *Нефть. хоз-во*. – 2002. – № 5. – С. 92–97.
3. Кузнецов О.Л., Симкин Э.М., Чилингар Дж. Физические

основы вибрационного и акустического воздействий на нефтегазовые пласты. – М.: Мир, 2001. – 260 с.

4. Кравцов Я.И., Марфин Е.А. Волновое воздействие на продуктивные пласты как универсальный способ повышения эффективности добычи тяжелых нефтей и природных битумов // Геoresursy. – 2011. – № 3 (39). – С. 17–18.

5. Seismic techniques of enhanced oil recovery: Experimental and field results / O.L. Kuznetsov, E.M. Simkin, G.V. Chilingar, M.V. Gorfunkel, J.O.Jr. Robertson // Energy Sources. – 2002. – Vol. 24. – № 9. – P. 877–890.

6. Elastic-Wave Effect on Oil Production by In Situ Combustion: Field Results / E.A. Marfin, Y.I. Kravtsov, A.A. Abdrashitov, R.N. Gataullin, A.R. Galimzyanova // Petroleum Science and Technology. – 2015. – Vol. 33. – № 15–16. – P. 1526–1532.

7. Анализ эффективности термоволнового воздействия на Мордовско-Кармальском месторождении / Р.Х. Муслимов, Ю.В. Волков, А.Я. Хавкин, А.М. Петраков, В.Е. Алемасов, Я.И. Кравцов, Э.А. Буторин, Е.А. Марфин // Бурение и нефть. – 2003. – № 1. – С. 18–23.

8. Промысловые испытания волнового воздействия на процесс добычи нефти на Первомайском месторождении / Е.А. Марфин, Я.И. Кравцов, А.А. Абдрашитов, Р.Н. Гатауллин // Геoresursy. – 2014. – № 2 (57). – С. 14–16.

9. Кузнецов О.Л., Ефимова С.А. Применение ультразвука в нефтяной промышленности. – М.: Недра, 1983. – 192 с.

10. Changes in permeability caused by transient stresses: Field observations, experiments, and mechanisms / M. Manga, I. Beresnev, E.E. Brodsky, J.E. Elkhout, D. Elsworth, S.E. Ingebritsen, D.C. Mays, C.-Y. Wang // Rev. Geophys. – 2012. – Vol. 50. – RG2004.

11. Hamida T., Babadagli T. Effects of ultrasonic waves on the interfacial forces between oil and water // Ultrasonics Sonochemistry. – 2008. – Vol. 15. – № 4. – P. 274–278.

12. О процессах, определяющих механизм интегрированного воздействия на нефтяной пласт / Я.И. Кравцов, Е.А. Марфин, Э.А. Буторин, Р.Н. Гатауллин // Геoresursy. – 2009. – № 1 (29). – С. 43–45.

13. Гатауллин Р.Н., Кравцов Я.И., Марфин Е.А. Интенсификация добычи трудноизвлекаемых углеводородов за счет интегрированного тепловолнового воздействия на пласт // Нефть. хоз-во. – 2013. – № 1. – С. 90–93.

14. Марфин Е.А., Абдрашитов А.А., Беляев Е.В. Экспериментальная установка для исследования механизма воздействия упругих волн на процесс фильтрации // Тр. Рос. гос. ун-та нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2014. – № 2 (275). – С. 17–25.

15. Гатауллин Р.Н., Кравцов Я.И., Марфин Е.А. Нанотехнологии в задачах интенсификации добычи и повышения нефтеотдачи пластов // Тр. Академэнерго. – 2012. – № 1. – С. 125–138.

16. Загидуллина А.Р., Буторин Э.А. Выбор режимов работы динамической системы скважина – излучатель при вибро-волновом воздействии на пласт // Нефтепромышленное дело. – М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2012. – № 10. – С. 17–22.

17. Устройство для обработки продуктивных пластов // Пат. на полезную модель 85581 РФ. МПК F 15 B 21/12 / Э.А. Буторин, А.Р. Загидуллина, В.А. Карелин: заявитель и патентообладатель КазНЦ РАН. – № 2008126893/22: заявл. 01.07.2008; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22.

18. Возбуждение продольных резонансных колебаний давления в условиях забоя скважины / А.Р. Загидуллина, Э.А. Буторин, Я.И. Кравцов, Р.Н. Гатауллин // Нефтепромышленное дело. – М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2015. – № 5. – С. 33–37.

19. Гатауллин Р.Н., Кравцов Я.И., Коханова С.Я. Особенности метода интегрированного воздействия на продуктивный пласт при применении горизонтальных скважин

// Вестник Казанского гос. техн. ун-та им. А.Н. Туполева. – 2008. – № 3. – С. 9–13.

LITERATURA

1. Beresnev I.A., Johnson P.A. Elastic-wave stimulation of oil production: A review of methods and results // Geophysics. – 1994. – Vol. 59. – № 6. – P. 1000–1017.

2. Akusticheskie metody povysheniya nefteotdachi plastov i intensifikatsii dobychi nefti / Yu.I. Gorbachev, N.I. Ivanova, T.V. Kolesnikov, A.A. Nikitin, E.I. Orentlikherman // Neft. khoz-vo. – 2002. – № 5. – S. 92–97.

3. Kuznetsov O.L., Simkin E.M., Chilingar Dzh. Fizicheskie osnovy vibratsionnogo i akusticheskogo vozdeystviya na neftegazovye plasty. – M.: Mir, 2001. – 260 s.

4. Kravtsov Ya.I., Marfin E.A. Volnovoe vozdeystvie na produktivnye plasty kak universal'nyy sposob povysheniya effektivnosti dobychi tyazhelykh neftei i prirodnikh bitumov // Georesursy. – 2011. – № 3 (39). – S. 17–18.

5. Seismic techniques of enhanced oil recovery: Experimental and field results / O.L. Kuznetsov, E.M. Simkin, G.V. Chilingar, M.V. Gorfunkel, J.O.Jr. Robertson // Energy Sources. – 2002. – Vol. 24. – № 9. – P. 877–890.

6. Elastic-Wave Effect on Oil Production by In Situ Combustion: Field Results / E.A. Marfin, Y.I. Kravtsov, A.A. Abdrashitov, R.N. Gataullin, A.R. Galimzyanova // Petroleum Science and Technology. – 2015. – Vol. 33. – № 15–16. – P. 1526–1532.

7. Analiz effektivnosti termovolnovoogo vozdeystviya na Mordovo-Karmal'skom mestorozhdenii / R.Kh. Muslimov, Yu.V. Volkov, A.Ya. Khavkin, A.M. Petrakov, B.E. Alemasov, Ya.I. Kravtsov, E.A. Butorin, E.A. Marfin // Burenie i nefi'. – 2003. – № 1. – S. 18–23.

8. Promyslovye ispytaniya volnovoogo vozdeystviya na protsess dobychi nefti na Pervomayskom mestorozhdenii / E.A. Marfin, Ya.I. Kravtsov, A.A. Abdrashitov, R.N. Gataullin // Georesursy. – 2014. – № 2 (57). – S. 14–16.

9. Kuznetsov O.L., Efimova S.A. Primenenie ul'trazvuka v neftyanoy promyshlennosti. – M.: Nedra, 1983. – 192 s.

10. Changes in permeability caused by transient stresses: Field observations, experiments, and mechanisms / M. Manga, I. Beresnev, E.E. Brodsky, J.E. Elkhout, D. Elsworth, S.E. Ingebritsen, D.C. Mays, C.-Y. Wang // Rev. Geophys. – 2012. – Vol. 50. – RG2004.

11. Hamida T., Babadagli T. Effects of ultrasonic waves on the interfacial forces between oil and water // Ultrasonics Sonochemistry. – 2008. – Vol. 15. – № 4. – P. 274–278.

12. O protsessakh, opredelyayushchikh mekhanizm integrirovannogo vozdeystviya na neftyanoy plast / Ya.I. Kravtsov, E.A. Marfin, E.A. Butorin, R.N. Gataullin // Georesursy. – 2009. – № 1 (29). – S. 43–45.

13. Gataullin R.N., Kravtsov Ya.I., Marfin E.A. Intensifikatsiya dobychi trudnoizvlekaemykh uglevodorodov za schet integrirovannogo teplovollnovoogo vozdeystviya na plast // Neft. khoz-vo. – 2013. – № 1. – S. 90–93.

14. Marfin E.A., Abdrashitov A.A., Belyaev E.V. Eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya mekhanizma vozdeystviya uprugikh voln na protsess fil'tratsii // Tr. Ros. gos. un-ta nefi i gaza im. I.M. Gubkina. – 2014. – № 2 (275). – S. 17–25.

15. Gataullin R.N., Kravtsov Ya.I., Marfin E.A. Nanotekhnologii v zadachakh intensifikatsii dobychi i povysheniya nefteotdachi plastov // Trudy Akademenergo. – 2012. – № 1. – S. 125–138.

16. Zagidullina A.R., Butorin E.A. Vybor rezhimov raboty dinamicheskoy sistemy skvazhina – izluchatel' pri vibro-vollnovom vozdeystvii na plast // Neftpromyshlennoe delo. – M.: OAO "VNIIOENG", 2012. – № 10. – S. 17–22.